



УДК 551.21+550.42

Г. Б. Флёров, В. В. Ананьев, Г. П. Пономарёв

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский  
e-mail: flerov@kscnet.ru*

## **Минералогия пород вулканов Острый и Плоский Толбачиков, исторических извержений и первого этапа формирования зоны шлаковых конусов**

Пространственная сопряжённость вулканических проявлений зоны шлаковых конусов и стратовулканов Острый и Плоский Толбачики вызвала полемику в отношении сценария поступления исходных для этих объектов магм к поверхности и положения магматических очагов, их продуцирующих. Геологическая история Толбачинского вулканического центра и результаты исследований, изложенные в [1, 7, 8], показали существенные различия в геодинамике вулканических процессов, сформировавших стратовулканы и зону шлаковых конусов, и был высказан тезис об относительной независимости и отсутствии прямого наследования их вулканизма. В настоящей статье приводятся результаты сравнительного анализа химического и минерального состава пород стратовулканов и базальтоидов глинозёмистого типа зоны шлаковых конусов, дается оценка физико-химических условий их кристаллизации и приводятся некоторые суждения об их петрогенезисе.

Геологическое строение вулканов Острого и Плоского Толбачиков и состав слагающих их пород ранее были описаны В. А. Ермаковым [3]. В дополнение к изложенному в упомянутой работе нами в одном из ранних лавовых потоков Острого Толбачика было обнаружено много ксенолитов габбро, пироксенитов и оливинитов размером до 2 см. В настоящей статье приводятся данные петрографо-минералогического изучения пород, отобранных авторами при полевых работах.

Из всего объёма вулкаников зоны шлаковых конусов для исследования минерального состава были использованы выборки пород: исторических извержений, как типичных представителей базальтоидов субщелочного глинозёмистого типа и этапа смены вулканизма центрального типа на трещинный. При этом из переходного этапа были отобраны образцы с северо-восточной зоны, пересекающей вулкан Плоский Толбачик, из дайки мегаплагиофирового андезибазальта и крайнего южного конуса зоны шлаковых конусов. Составы породообразующих минералов определялись на рентгеновском микроанализаторе «Camebax» в ИВиС ДВО РАН. Исследования проводились в мономинеральных шаш-

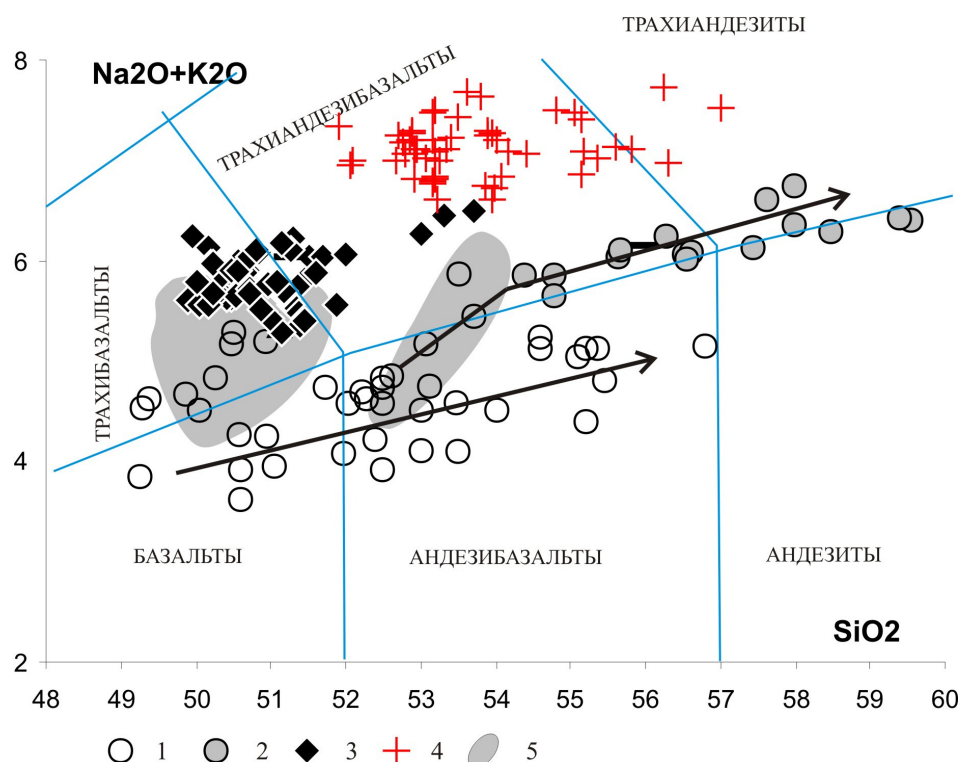
ках, включающих зёрна размером более 0,2 мм. Это позволило получить статистически объективную и равнозначную информацию о составах минералов вкрапленников и субфенокристаллов.

Рассматриваются три породные ассоциации: 1 — стратовулканов Острый и Плоский Толбачики; 2 — исторических извержений: прорывы Южный (1975–76 гг.), извержение им. 50 лет ИВиС (2012–13 гг.) и вершинных извержений кратера Плоского Толбачика 1966, 1970, 1975 гг.; 3–1-го этапа формирования зоны шлаковых конусов.

Для пород стратовулканов (ассоциация 1) типичны структуры мелкопорфировые, серийно-порфировые, в меньшей степени встречаются субафировые. Текстуры пород — массивные. Породы представлены оливин-пироксен-плагиоклазовыми разностями, в подчиненном количестве всегда присутствует ортопироксен, титаномagnetит. Среди фенокристаллов одним из первых кристаллизуется оливин, ортопироксен приурочен к поздней стадии. Его кристаллы часто включают реликты оливина, клинопироксена и плагиоклаза. Отмечаются и обратные взаимоотношения, где уже оливин и ортопироксен представлены в виде реликтов в клинопироксене. Во всех минералах вкрапленников встречены включения стекла. Структуры основной массы пород обычно интерсертальные и микролитовые. В основной массе, кроме вышеперечисленных минералов, отмечаются микролиты пижонита и встречен кварц.

Лавы Южного прорыва и извержения 2012–13 гг. (ассоциация 2) представлены оливин-плагиоклазовыми разностями с явным преобладанием плагиоклаза. Главной структурной особенностью их является наличие крупных мегакристаллов плагиоклаза. Породам типичны пористые текстуры. Клинопироксен встречается единично, ортопироксен отсутствует. Породам Южного прорыва свойственны макроструктуры мегаплагиофировые, лавы извержения 2012–13 гг. представлены только субафировыми разностями. Структуры основной массы пород обычно витрофировые.

Вулканики 1-го этапа зоны шлаковых конусов (ассоциация 3) характеризуются широкими вариациями структурного облика и переменным коли-



**Рис. 1.** Корреляционная диаграмма  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  для пород Острого и Плоского Толбачиков, исторических извержений и 1-го этапа вулканизма зоны шлаковых конусов. 1, 2 — стратовулканы Острый и Плоский Толбачики (ассоциация 1): валовый состав пород (1), основная масса (2); 3, 4 — исторические извержения в зоне шлаковых конусов (ассоциация 2): валовый состав пород (3), основная масса (4); 5 — поле составов вулканитов 1-го этапа формирования зоны шлаковых конусов (ассоциация 3). Стрелки — тренды эволюции пород стратовулканов. Для построения петрохимических диаграмм использовались данные авторов и материалы публикаций [1–5, 7–9]. Новые анализы на содержание петрогенных оксидов выполнены рентгенно-флуоресцентным методом на спектрометре «Пионер» в ИВиС ДВО РАН.

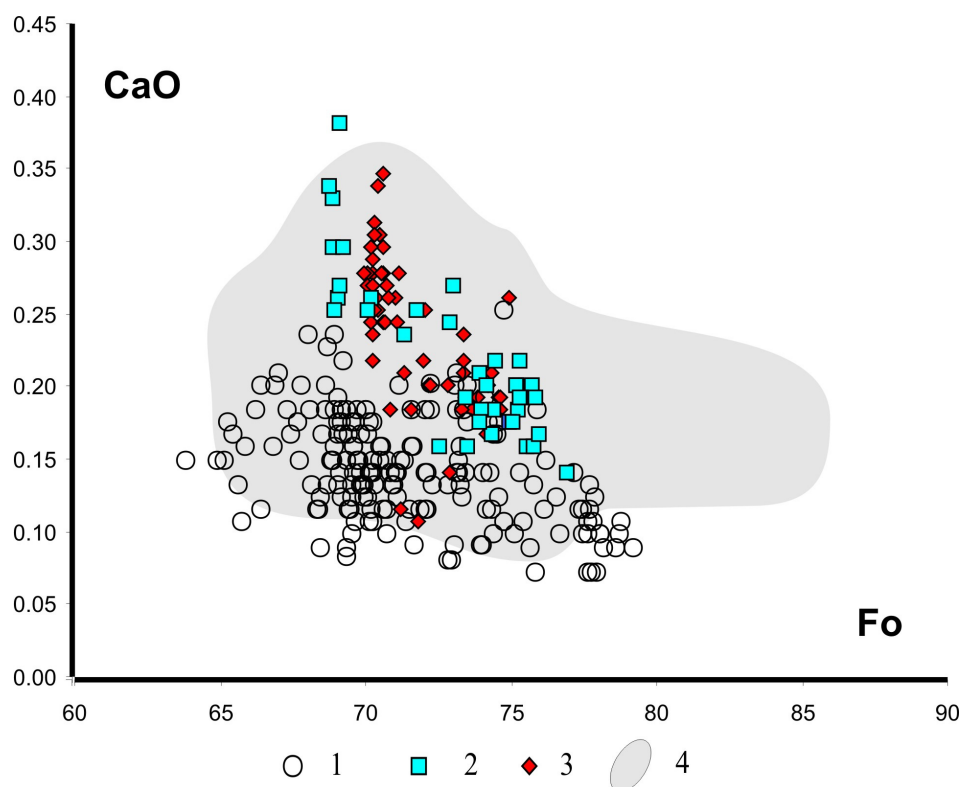
чественно-минеральным составом. В минеральной ассоциации вкрапленников и субфенокристаллов всегда присутствуют плагиоклаз, клинопироксен и оливин. Кроме того, отмечаются разности содержащие так же и ортопироксен.

На диаграмме рис. 1 видно, что породы ассоциация 1 и 2, слагают две компактные дискретные совокупности, каждая из которых связана линейной корреляционной зависимостью. Соответственно, они представлены базальтами, андезибазальтами и трахибазальтами, трахиандезибазальтами и относятся к нормально-щелочному умеренно калиевому и умеренно-щелочному высоко калиевому типам [7, 8]. Вулканиты значительно различаются как по щёлочности, так и по содержанию всех других оксидов. Породы стратовулканов отличаются более продвинутым интервалом кремнекислотности ( $\text{SiO}_2$  — 49,2–56,8% против 49,4–53,6%), существенно меньшими концентрациями щелочей и титана. Отмеченные тенденции распределения петрогенных элементов валовых составов пород прослеживаются составами их основных масс, которые закономерно продолжают тренды их эволюции. В то же время, составы пород стратовулканов заметно варьируют по щёлочности, что выражается двумя трендами их эволюции.

Если составы пород ассоциаций 1 и 2 образуют субпараллельные тренды эволюции с постепенным изменением щёлочно-кремнекислотного отношения, то иная картина наблюдается в сравнении таковыми ассоциации 3. Породы ассоциации 3 занимают промежуточную позицию в интервале кремнекислотностью 49,5–52,8%, образуют ортогонально ориентированные линии регрессии составов с тенденцией резкого изменения щёлочности и титана. Следует заметить, что промежуточные составы с аналогичной тенденцией повышения щёлочности отмечаются и для части вулканитов стратовулканов.

Составы минералов из пород ассоциаций 1 и 2 значительно различаются по содержанию компонентов и в то же время на диаграммах характеризуются сходной конфигурацией распределения в кристаллизационных рядах типа, что иллюстрируется рисунком 2. Минералы из пород каждой отдельно взятой ассоциации слагают компактные совокупности с субпараллельными линиями регрессии, образуют сопряженные поля точек с частичным перекрытием.

Оливины, свойственные породным группам ассоциаций 1 и 2, различаются по концентрации  $\text{CaO}$  и интервалу содержания форстеритового минала:  $\text{Fo}_{79-58}$  (Ol 1) против  $\text{Fo}_{76-69}$  (Ol 2) (рис. 2). Примечательно то, что в ряде случаев Ol 1 и Ol 2 взаимо-



**Рис. 2.** Вариационные диаграммы соотношения  $\text{Fo}-\text{CaO}$  в оливинах из пород стратовулканов Острый и Плоский Толбачики и зоны шлаковых конусов. 1 — оливины ассоциации 1; 2, 3 — оливины ассоциации 2: Южный прорыв Большого трещинного Толбачинского извержения (2), трещинное Толбачинское извержение 2012–2013 гг.; 4 — поле оливинов ассоциации 3.

образно обнаружены в расположении чуждых им минеральных совокупностей.

Плагиноклазы значимо различаются по содержанию ортоклазовой компоненты. При этом плагиноклазы ассоциации 1 обладают существенно более основным составом ранних кристаллических фаз и представлены рядом анортит-лабрадор (Pl 1) с интервалом An (%) — 92–52, Ort (%) — 0,41–2,56. Составы таковых ассоциации 2 соответствуют лабрадору с интервалом An (%) — 73–52 (Pl 2), Ort (%) — 1,78–4,40. Равно как и в случае оливинов обе минеральные совокупности включают плагиноклазы, свойственные им по составу, но обнаруженные в породах другой ассоциации. Кроме того, был встречен кристалл Pl 1, включающий реликт Pl 2.

Минералы из пород ассоциации 3 отличаются широкой вариабельностью составов, а их фигуративные точки укладываются в области таковых обеих описанных выше ассоциаций (рис. 2).

Шпинелиды во всех породах представлены титаномagnetитами. При сходных содержаниях титана и алюминия титаномagnetиты, включенные в оливины и пироксены, из пород ассоциации 2 отличаются меньшей железистостью и повышенными содержаниями хрома.

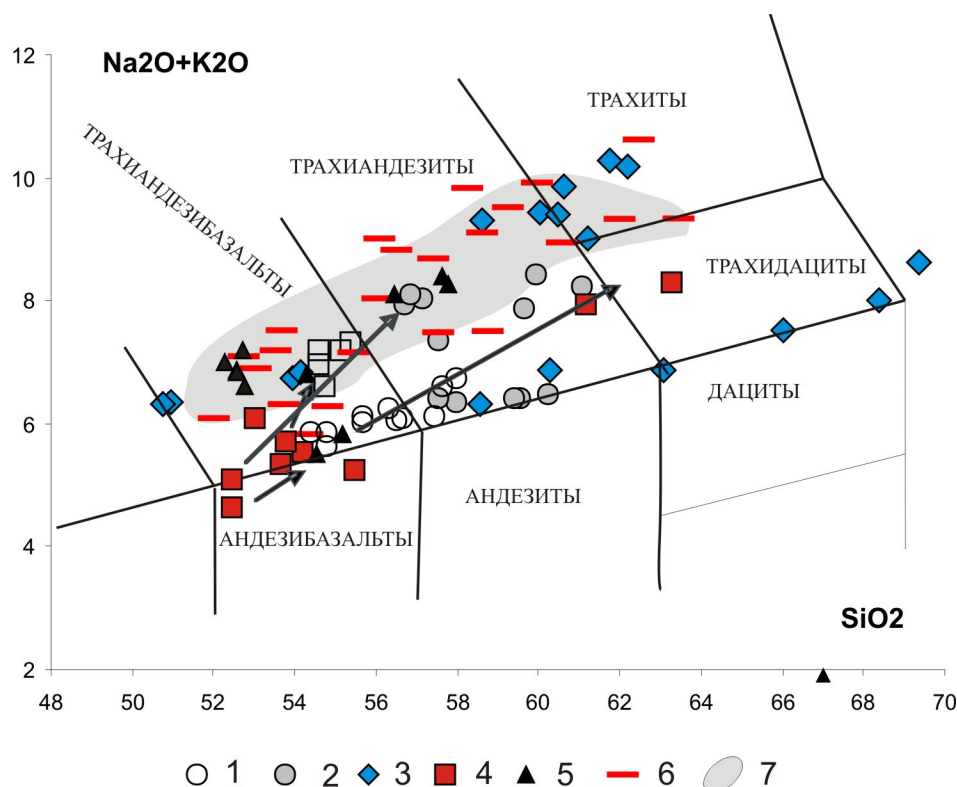
Клинопироксены из пород ассоциации 1 представлены рядом диопсид — авгит с магнeзиальностью 87–65, а из пород ассоциации 2 — авгитом в интервале магнeзиальности 82–66. Клинопироксены

ассоциации 2 отличаются более высокими содержаниями титана

Ортопироксены ассоциации 1 и 3 представлены непрерывным рядом состава бронзит — гиперстен с интервалом магнeзиальности 23–34. В последних в одном случае ортопироксен был обнаружен во включении в оливин.

Различия химических составов пород находят своё отражение в составах стёкол. Породам каждой ассоциации свойственны свои составы стёкол, которые существенно различаются по щёлочности (Gl 1 и Gl 2). В представительных породах каждой ассоциации они продлевают тренды эволюции породы — основная масса — матричное стекло (рис. 3). Однако, в ряде пород ассоциации 1 и 3 отмечается оба типа матричных стёкол, что свидетельствует о вариациях химической среды кристаллизующихся пород. Более того, щелочные стекла Gl 2, являющиеся принадлежностью вулканитов ассоциации 2, определены во включениях в оливины, ортопироксены, клинопироксены и плагиноклазы из пород как стратовулканов, так и ассоциации 3 (рис. 3).

Различия химического, петрографического, минерального состава пород, состава минеральных фаз и стёкол вулканитов Толбачинских стратовулканов (ассоциация 1) и субщелочных глинозёмистых базальтоидов исторических извержений (ассоциация 2) и нелинейная корреляционная зависимость между составами пород двух ассоциаций позволяют



**Рис. 3.** Вариационная диаграмма соотношения  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  в основных массах пород, стеклах матричных и включенных в минералы. 1–3 — породы ассоциации 1: основная масса (1), стекла матричные (2), в оливинах и пироксенах (3); 4–6 — ассоциация 3: основная масса (4), стекла матричные (5), в оливинах и пироксенах (6); 7 — поле составов основной массы и стёкол ассоциации 2; стрелки — тренды эволюции основная масса — матричные стекла в породах ассоциации 3.

рассматривать их как производные двух относительно самостоятельных базальтоидных магм разного состава. Эти магмы являются исходными, соответственно, для стратовулканов Острого и Плоского Толбачиков и трещинных извержений в зоне шлаковых конусов.

Для установления Р-Т условий кристаллизации магмы стратовулканов были использованы составы пород, минералов и стёкол с учётом их равновесности. Расчёты проводились для случая «сухого» расплава по парагенезисам расплав-оливин, расплав-оливин-ортопироксен, расплав-ортопироксен — клинопироксен и расплав-оливин для случая насыщенного водным флюидом расплава [6]. Параметры условий кристаллизации были определены в интервалах значений  $(1150-1200^\circ\text{C}) \pm 40^\circ\text{C}$ ,  $(7,5 \pm 2)$  кб и  $(1070-1090^\circ\text{C}) \pm 40^\circ\text{C}$ ;  $(4-7,5) \pm 3,3$  кб соответственно, что предполагает начало кристаллизации ранних минеральных фаз в области глубины 20 км.

В то же время, линейный характер распределения петрогенных элементов относительно кремнекислотности пород ассоциаций 1 и 2 и субпараллельность трендов эволюции составов минералов и матричных стёкол свидетельствуют о формировании серий пород отдельно взятой ассоциации в результате процессов кристаллизационной дифференциации этих магм.

Однако, ряд фактов свидетельствуют о сложной неоднозначной обстановке, сложившейся в очаге, продуцирующем на поверхность магмы стратовулканов. К их числу относятся: смещение точек полей составов пород и минералов ассоциации 1 в область таковых ассоциации 2; промежуточный состав пород ассоциации 3 и широкая вариабельность составов минералов из них; наличие стёкол разной щёлочности в породах ассоциации 1 и 3. Все эти данные свидетельствуют о неравновесной и меняющейся физико-химической обстановке среды в процессе формирования пород, что предполагает роль гибрида в их петрогенезисе, и позволяют сделать вывод об определённой взаимосвязи пространственно разделённых источников магм, выразившейся с одной стороны в прямом их смешении, с другой — в привносе щелочной компоненты в магму в процессе её кристаллизации. Геологическим подтверждением их парагенетической связи служит пространственная сопряжённость вулканических проявлений извержений центрального типа и трещинных извержений зоны шлаковых конусов. Не исключена и роль ассимиляции в образовании гибридной магмы, о чём косвенно свидетельствуют находки коровых ксенолитов в лаве Острого Толбачика. Предполагается, что процессы, приведшие к образованию гибридной магмы и её кристаллизации

---

## **Секция II**

Геодинамика зоны перехода океан-континент:  
геофизические исследования в областях  
современного и четвертичного вулканизма,  
природные катастрофы.

происходили в промежуточном и периферическом очагах, непосредственно из которых она поступала на поверхность, формируя стратовулканы.

#### Список литературы

1. Брайцева О. А., Мелекесцев И. В., Флёров Г. Б. и др. Голоценовый вулканизм Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов // Большое трещинное Толбачинское извержение, Камчатка 1975–1976 гг. М: Наука. 1984. С. 177–222.
2. Волынец А. О., Мельников Д. В., Якушев А. И. Первые данные о составе продуктов Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС (Камчатка) // ДАН. 2013. Т. 452. № 3. С. 303–307.
3. Ермаков В. А. Формационное расчленение четвертичных вулканических пород. М.: Недра. 1977. 223 с.
4. Иванов Б. В. Андезиты Камчатки. М.: Наука. 2008. 470 с.
5. Кирсанов И. Т., Пономарёв Г. П. Извержения вулкана Плоский Толбачик и некоторые особенности их продуктов // 1974. Бюл. Вулканол. станций. 1974. № 50. С. 53–63.
6. Пономарёв Г. П., Пузанков М. Ю. Распределение породообразующих элементов в системе основной-ультраосновной расплав-шпинель, оливин, ортопироксен, клинопироксен, плагиоклаз по экспериментальным данным: геологическое приложение. М: «Пробел 2000». 2012. 664 с.
7. Флёров Г. Б., Андреев В. Н., Будников В. А., Цюрупа А. И. Петрология продуктов извержения // Большое трещинное Толбачинское извержение, Камчатка 1975–1976 гг. М: Наука. 1984. С. 225–276.
8. Флёров Г. Б., Мелекесцев И. В. Извержение 2012 – 2013 гг. как результат продолжающейся активности Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов (Ключевская группа вулканов, Камчатка) // Материалы региональной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённая Дню вулканолога, 29–30 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский. 2014. С. 139–144.
9. Эрлих Э. Н. Петрохимия кайнозойской Курило-Камчатской провинции. М: Наука. 1966. 277 с.